

А. А. Никитаева, Е. С. Соколов

*Нижегородский государственный университет
им. Н. И. Лобачевского, kyrli.mt@yandex.ru*

**ЗАДАЧА ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ
ОСТАНОВКЕ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА:
АНАЛИТИЧЕСКОЕ И ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ
С ПОМОЩЬЮ ПРИНЦИПА МАКСИМУМА
Л. С. ПОНТЯГИНА**

При делении ядер урана-235, использующегося в качестве топлива в ядерном реакторе, в 60 случаях из 1000 образуется йод-135, который является крайне неустойчивым изотопом, при β -распаде он превращается в ксенон-135. Ксенон-135 образуется не только в результате распада йода, но и непосредственно при делении урана: примерно три атома ксенона на 1000 делений урана.

Эти изотопы, а в большей степени ксенон-135, обладают большим сечением поглощения тепловых нейтронов. Поэтому в случае остановки реактора повышенное содержание ксенона может препятствовать его последующему запуску и дальнейшей нормальной работе. Происходит "отравление" реактора ксеноном. Таким образом, возникает следующая задача: *каким должен быть закон управления реактором в течение периода времени $0 \leq t \leq T$ (T — заданный момент остановки), чтобы был минимальным ксеноновый пик (максимум концентрации ксенона после остановки), зависящий от состояния реактора в момент времени T .*

Одна из возможных математических моделей поставленной задачи выглядит следующим образом (см., например, [1], [2]). Имеется управляемая система (a, b, c, p, g — постоянные)

$$\begin{cases} \frac{dY}{dt} = au - Y, \\ \frac{dX}{dt} = bu + cY - pX - guX, \end{cases}$$

где $Y(t)$, $X(t)$ — концентрации соответственно йода-135 и ксенона-135 в реакторе, $u(t)$ — поток нейтронов (управление), $0 \leq t \leq T$. Управление принимает значения из заданного отрезка. Начальное состояние управляемой системы задано. Требуется минимизировать терминальный функционал (K — постоянная)

$$J[u] = K \cdot Y(T) \left(\frac{c}{1-p} + \frac{X(T)}{Y(T)} \right)^{\frac{1}{1-p}}.$$

В докладе обсуждаются вопросы существования решения указанной задачи, ее аналитического и численного решения с помощью принципа максимума.

Так, при не очень большом T анализ принципа максимума Понтрягина позволяет указать однопараметрическое семейство релейных функций, которому заведомо принадлежит оптимальное управление. Это позволяет свести нахождение оптимального управления к одномерной задаче минимизации. В докладе обсуждаются численные результаты, полученные в рассматриваемой задаче таким методом параметризации и методом проекции градиента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рудик А. П. *Ядерные реакторы и принцип максимума Понтрягина*. — М.: Атомиздат, 1971.
2. Табак Д., Куо В. *Оптимальное управление и математическое программирование*. — М.: Наука, 1975.